

EL PENSAMIENTO SISTÉMICO COMO VÍA PARA AVANZAR HACIA LA COMPRENSIÓN DE LOS FENÓMENOS COMPLEJOS: EL CASO DE LOS FENÓMENOS AMBIENTALES URBANOS

Marta Gual Oliva

*Grup de Recerca Còmpex, Dept. Didàctica de la Matemàtica i de les Ciències Experimentals
Universitat Autònoma de Barcelona*

RESUMEN: La investigación que se presenta tiene como finalidad promover el uso del pensamiento sistémico en alumnado de secundaria como parte del proceso de ambientalización curricular. La ciudad como un sistema socio-ecológico se establece como un contexto motivador para los alumnos de 13-14 años que, tras la aplicación de una unidad didáctica, diseñarán propuestas de acción para mejorar la calidad ambiental de su ciudad. Los datos se analizaron cualitativamente a partir de las “Dimensiones para el análisis del pensamiento sistémico”, con el fin de identificar los componentes más significativos del pensamiento sistémico utilizados por el alumnado en sus explicaciones. Los resultados preliminares que se presentan permiten confirmar la tendencia a la causalidad lineal y la resistencia al pensamiento emergente en la comprensión de los fenómenos complejos.

PALABRAS CLAVE: Pensamiento sistémico, ambientalización curricular, complejidad

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

Diversas investigaciones (Hodson, 2003; Terron, 2000) han revelado la necesidad de incorporar en la clase de ciencias en particular y en los centros educativos en general, un pensamiento diferente, una nueva manera de ver el mundo, de sentir o de relacionarse para comprender en su complejidad, los fenómenos que nos rodean y contribuir así, a la formación de una ciudadanía competente para poder actuar en su entorno. Entendemos esta transformación como parte del proceso de ambientalización curricular (Pujol, RM 2005), porque implica una transformación que no sólo se refiere al curriculum sino que tiene implicaciones en toda la concepción del centro escolar. En esta investigación nos fijamos en la parte que tiene que ver con cómo se explican y se aprenden los fenómenos del mundo, y concretamente apostamos por el pensamiento sistémico como este pensar diferente y como una competencia necesaria para avanzar hacia la ambientalización curricular de los centros educativos.

A partir de este escenario, se plantea una investigación con la siguiente finalidad:

Promover el desarrollo del pensamiento sistémico en alumnado de secundaria para avanzar hacia la ambientalización curricular de los centros educativos.

La finalidad se ha concretado en cuatro objetivos, pero para los propósitos de este texto se presentan los resultados para los dos primeros, que se resumen a continuación:

Objetivo 1: El pensamiento sistémico es un concepto que se ha abordado desde multitud de disciplinas, en esta investigación lo abordamos en un contexto educativo y por eso pretendemos identificar aquellos componentes que desde un punto de vista didáctico son más significativos. Por esta razón la primera pregunta que orienta la investigación es:
¿Qué características presenta el pensamiento sistémico desde la perspectiva de la didáctica de las ciencias experimentales?

Objetivo 2: A partir de la caracterización emerge una propuesta de indicadores con la que pretendemos caracterizar e identificar aquellos componentes del pensamiento sistémico que son más significativos para el alumnado. Por eso nos preguntamos:
¿Qué componentes del PS aparecen en las producciones del alumnado a lo largo del proceso de implementación de una acción educativa?

EL PENSAMIENTO SISTÉMICO: UNA COMPETENCIA NECESARIA PARA LA AMBIENTALIZACIÓN CURRICULAR

Definimos los sistemas como redes dinámicas formadas por un número indeterminado de componentes que interactúan entre ellos, y con otros componentes fuera del sistema, influyendo en el entorno y siendo influidos por él. Estas relaciones no son siempre lineales, lo que garantiza que pequeñas interacciones (causas) puedan ocasionar grandes cambios (efectos) y viceversa, teniendo en cuenta que hay bucles que se producen en las interacciones proporcionando retroalimentación entre los componentes. Los sistemas evolucionan en el tiempo, y para garantizar una supervivencia evolutiva existen mecanismos de autorregulación que se manifiestan a través del flujo constante de intercambio de energía, materia e información con el entorno (Cilliers, 1998).

Partiendo de esta afirmación, situamos los fenómenos ambientales como sistemas complejos. Para llegar a ser ciudadanos competentes para actuar en un mundo de rápido cambio económico, social y ambiental caracterizado por la complejidad y la incertidumbre, se hace necesario entonces, comprender estos fenómenos desde una visión sistémica para trabajar hacia el cambio para la sostenibilidad (Wylie, 1998; Sterling, 2004; Tilbury, 2011). Así, uno de los desafíos contemporáneos de la educación en general, y de la educación científica en particular, es el desarrollo de la competencia de pensamiento sistémico como oportunidad para gestionar los desafíos sociales actuales.

Este interés por el pensamiento sistémico no es nuevo. Existe gran cantidad de literatura sobre las necesidades y dificultades en la enseñanza y el aprendizaje de los fenómenos complejos y del enfoque sistémico para comprenderlos. Ésta revela que los sistemas se han enseñado tradicionalmente a partir de sus partes y no a partir de las interacciones que se producen entre ellas, lo que dificulta en el alumnado poder entenderlos como fenómenos complejos, ya que esta perspectiva no facilita *ver* la complejidad que hay en ellos (Jörg, 2009). Este hecho provoca la tendencia a explicar los fenómenos complejos usando reglas simples o como fenómenos simples (Grotzer, 2003). Otra dificultad añadida es que la comprensión de sistemas complejos implica pensar en múltiples niveles interdependientes, la causalidad no lineal y la emergencia (Jacobson & Wilensky, 2006), pero el alumnado tiende al razonamiento causal lineal, buscando sólo cadenas secuenciales de causas y efectos cuando en realidad son patrones sistémicos complejos lo que está en juego (Grotzer, 2003).

Este contexto pone de manifiesto la necesidad de avanzar hacia la promoción del uso del pensamiento sistémico en la comprensión de los fenómenos del mundo, para formar ciudadanos responsables y con capacidad de transformar el entorno para poder vivir en un mundo más justo y sostenible.

PINTAR CON LA MIRADA: CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN

Se diseñó la unidad didáctica “Pintar con la mirada” (Autores, 2011) desde una aproximación conceptual afín al pensamiento sistémico y didácticamente orientada por propuestas socioconstructivistas. El objetivo principal de la unidad didáctica era la proposición por parte del alumnado de estrategias y acciones para mejorar la calidad ambiental de su ciudad.

PROCESO METODOLÓGICO

Dos grupos clase de 2º y 3º curso de Educación Secundaria Obligatoria (13-14 años) de dos institutos de la provincia de Barcelona participaron en la investigación, en el año 2010. Para los objetivos de esta investigación se eligió un grupo cooperativo de cada clase, de manera que los participantes son un grupo formado por siete alumnos (2º ESO) y el otro por cinco (3º ESO).

La investigación se presenta con un enfoque cualitativo. Los datos provienen de diversas fuentes: durante las sesiones de clase se recogieron los trabajos escritos del alumnado, las sesiones fueron grabadas en audio, y se tomaron notas de campo. Se realizó una entrevista en profundidad posterior con los grupos participantes para aclarar algunos aspectos. Todos los datos fueron transcritos y analizados utilizando el software de análisis de datos cualitativos (atlas.ti) mediante la estrategia del análisis del contenido (Mayring, 2000). Definimos las unidades de significado para el análisis como aquellas que tienen sentido por sí mismas y que son relevantes para los propósitos de la investigación. En este caso, nos referimos a los textos que establecen una relación causal, o en ausencia de ella, que son importantes precisamente porque no la establecen.

RESULTADOS (I): DIMENSIONES PARA EL ANÁLISIS DEL PENSAMIENTO SISTÉMICO

El marco de análisis de los datos se presenta como el primer resultado de esta investigación. Éste se basa en el pensamiento sistémico, la causalidad y la emergencia, resultando en cinco dimensiones: nivel escalar, naturaleza del sistema, patrón de interacción, carácter de los componentes y grado de predictibilidad (Assaraf & Orion, 2005; Grotzer, 2003; Resnick, 1994).

Así, las “Dimensiones para el análisis del pensamiento sistémico” se han construido a partir de la revisión de la literatura y se han añadido dimensiones y categorías que han emergido durante el proceso de análisis, concretamente la dimensión *nivel escalar* íntegramente y algunas de las categorías de la dimensión *patrón de interacción* se obtuvieron inductivamente a partir de los datos. A continuación se muestran las dimensiones y sus categorías ordenadas en un grado ascendiente de complejidad.

Tabla 1.
Dimensiones para el análisis del pensamiento sistémico

	Nivel Escalar	Naturaleza del sistema	Patrón de Interacción	Carácter de los componentes	Grado de predictibilidad
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); margin-right: 5px;">Δ complejidad</div> <div style="flex-grow: 1; border-left: 1px solid black; position: relative;"> <div style="position: absolute; top: 0; bottom: 0; left: -5px; border-left: 1px solid black;"></div> </div> </div>	meso-macro	Sistema	No Interacción	Agentes dispersos	Carácter determinista
	meso2-macro	Cerrado	Interacción		
	meso4-macro	Sistema	neutra	Agentes centrales	Presencia de azar e indeterminación
	micro-meso	Abierto 1	Interacción lineal	Agentes cadena	Carácter Irreversible
	micro-meso-macro	Abierto 2	simple		
	micro-meso2-macro	Sistema	Interacción lineal	Agentes red	
	micro-meso3-macro	Abierto 3	simple ++	Agentes emergentes	
	micro15-meso		Interacción lineal		
	micro2- meso - macro		simple --		
	micro2-meso		Interacción lineal		
	micro2-meso2-macro		simple +- Interacción		
	micro3-meso		lineal		
	micro3-meso-macro		simple -+ Interacción		
	micro3-meso2-macro		lineal		
	micro4-meso		múltiple Interacción		
	micro4-meso-macro		lineal		
	micro4-meso2-macro		múltiple convergente Interacción		
	micro5-meso		lineal		
	micro5-meso4-macro		múltiple divergente		
	micro6-meso2-macro		Interacción dómينو		
	micro7-meso-macro		simple + Interacción		
	micro8-meso2-macro		dómينو simple - Interacción		
	micro8-meso3-macro		dómينو simple mixto Interacción		
	micro9-meso		recursiva Interacción retroactiva		

La primera dimensión explica los niveles escalares que intervienen en la relación causal y el número de componentes que pertenecen a cada nivel. La segunda explica la naturaleza del sistema en relación con su entorno (relación dentro-fuera e intercambio de flujo). Los patrones de interacción explican la naturaleza de la relación de interacción entre los componentes. La siguiente dimensión se refiere al tipo de componentes que participan en la relación. La última dimensión se refiere al grado de predictibilidad de los efectos de la relación causal.

Esta trasposición didáctica del pensamiento sistémico permitirá caracterizar las producciones del alumnado e identificar los componentes más significativos desde una perspectiva didáctica.

Resultados (II): Caracterización de las producciones del alumnado

Se presentan los resultados para el grupo de 2º curso de la ESO, para ejemplificarlos se muestran algunos extractos.

En la dimensión *nivel escalar* la mayor parte de las explicaciones se sitúan en dos niveles escalares, relacionando el micro-meso, y el meso-macro. Por ejemplo, cuando los alumnos hablan sobre las causas de la contaminación atmosférica (nivel meso) lo atribuyen a los coches y las fábricas (nivel micro). Por lo tanto, cuando sugieren su estrategia para mejorar la calidad del aire tiene que ver con los componentes del nivel micro que va a mejorar el nivel meso (el aire):

Para mejorar la calidad del aire, la cantidad de CO₂ en el aire tiene que ser reducida. Para lograrlo las personas tienen que usar menos coches o motos, tiene que haber un menor número de fábricas. Y tenemos que usar más la bicicleta.

En la dimensión *naturaleza del sistema*, la mayoría de los alumnos representan la ciudad como un sistema abierto que es influenciado y modificado por el entorno (Sistema Abierto 2). El *patrón de interacción* predominante es el patrón lineal simple (una causa y un efecto), seguido por el patrón dominó (causas y efectos relacionados en cadenas) y el patrón lineal múltiple convergente (multicausa - un efecto). A continuación se muestra un ejemplo para cada una de las categorías citadas, respectivamente:

[Hablando de los problemas de ruido en la zona] Si la gente está informada de que la música sólo puede ponerse hasta las 22h, entonces el volumen de la música por las noches se reducirá

Una avería en la línea de ferrocarril tiene que ver con la movilidad, ya que afecta a muchas personas que toman el tren. Y luego se ven obligados a coger el coche

Si hay menos tráfico y más transporte público, la movilidad será buena

En relación a la dimensión *carácter de los componentes*, la mayor parte de los componentes son agentes centrales o agentes cadena. Finalmente, en la dimensión *grado de predictibilidad*, muy pocas relaciones incluyen la aleatoriedad o incertidumbre. En uno de los casos los alumnos explican las desventajas del transporte público, como parte de la actividad argumentativa. Ellos tienen en cuenta un grado de incertidumbre ya que consideran distintos finales que podrían darse a una situación pero aun así no pueden estar totalmente seguros de lo que podría suceder si se implementa una nueva oferta de transporte público en la ciudad.

Así, como resultado global podemos afirmar que la mayoría de relaciones expresadas por los alumnos se sitúan en un nivel medio de complejidad, en general para todas las dimensiones.

CONCLUSIONES

En relación al primer objetivo se han presentado las “Dimensiones para el análisis del pensamiento sistémico”, un marco de análisis que se ha mostrado adecuado para identificar aquellos componentes del pensamiento sistémico didácticamente más relevantes. Además ha permitido analizar en qué medida el alumnado utiliza dichos componentes para explicar fenómenos complejos.

Referente al segundo objetivo, la caracterización de las producciones del alumnado confirma la tendencia al pensamiento lineal y la resistencia a la emergencia a la hora de explicar fenómenos complejos, en la línea de los trabajos de Jacobson y Wilensky (2006) y de Grotzer (2003). Aún así, la caracterización ha permitido hacer un diagnóstico de los componentes más significativos, lo que permitirá planificar estrategias didácticas para avanzar hacia la comprensión de los fenómenos complejos,

especialmente en cuanto a la no linealidad de las relaciones causales y la interrelación entre los distintos niveles escalares que componen dichos fenómenos.

Por último, la continuación de esta investigación pasa por identificar tendencias en el alumnado en el uso de los componentes más significativos del pensamiento sistémico, para definir patrones y a partir de ellos elaborar las estrategias didácticas para el profesorado que quiera promover el uso del pensamiento sistémico entre sus alumnos, contribuyendo así a la formación de ciudadanos capaces de transformar situaciones críticas en oportunidades para mejorar su calidad de vida de forma responsable y activa, como parte de los procesos de ambientalización curricular de los centros educativos.

REFERENCIAS

- Assaraf, O., & Orion, N. (2005). Development of system thinking skills in the context of earth system education. *Journal of Research in Science Teaching*, 42 (5), 518-560.
- Cilliers, P. (1998). *Complexity and postmodernism: Understanding complex systems*. London: Routledge.
- Grotzer, T. A. (2003). Learning to understand the forms of causality implicit in scientifically accepted explanations. *Studies in Science Education*, 39(1), 1-74.
- Hodson, D. (2003). Time for action: Science education for an alternative future. *International Journal of Science Education*, 25(6), 645-670.
- Jacobson, M., & Wilensky, U. (2006). Complex systems in education: Scientific and education importance and implications for the learning sciences. *Journal of the Learning Sciences*, 15 (1), 11-34.
- Jörg, T. (2009). Thinking in complexity about learning education: A programmatic view. *Complicity*, 6 (1), 1-22.
- Mayring, P. (2000). Qualitative Content Analysis. En *Forum: Qualitative Social Research*, 1 (2). En línea, <http://www.qualitative-research.net/index.php/fqs/article/view/1089/2385>, última vez visitado: 21/04/2013.
- Pujol, R. M. (2005). Construir una escola que eduqui pel desenvolupament sostenible. *Guix*, 316-317, 8-12.
- Resnick, M. (1994). *Turtles, termites, and traffic jams: Explorations in massively parallel microworlds*. Cambridge, Massachussets: MIT Press.
- Sterling, S. (2004). Systemic thinking. In D. Tilbury, & D. Wortman (Eds.), *Engaging people in sustainability* (pp. 77-93). Cambridge: IUCN.
- Terrón, E. (2000). La educación ambiental ante los desafíos del siglo XXI. *Ciencia y Docencia*, 3, 5-13.
- Tilbury, D. (2011). *Education for sustainable development: An expert review of processes of learning*. Paris: UNESCO.
- Wylie, J. W., Sheehy, N. P., McGuinness, C., & Orchard, G. (1998). Children's thinking about air pollution: A systems theory analysis. *Environmental Education Research*, 4(2), 117-137.